

Mechanická práce a energie



NEJVĚTŠÍ STAVBY LIDSTVA

Od středověkých katedrál po inženýrské zázraky moderní doby



NEJVĚTŠÍ STŘEDOVĚKÉ KATEDRÁLY



1 Bazilika sv. Petra

Vatikan

115. – 1626

Délka: 186 m
Výška kupole: 136 m
Vnitřní plocha: 15 160 m²



Největší křesťanská sakrální stavba světa



2 Sevillská katedrála

Sevilla, Španělsko

1401 – 1519

Délka: 116 m
Šířka: 76 m
Výška: 42 m
Vnitřní plocha: 11 520 m²



Největší gotická katedrála na světě



3 Milánský dóm

Milán, Itálie

1386 – 1965

Délka: 158 m
Šířka: 93 m
Výška: 108,5 m
Vnitřní plocha: 11 700 m²



Impozantní gotická stavba z mramoru

1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700 1800 1900 2000



6 NEJVĚTŠÍCH STAVEB MODERNÍ DOBY

1 Burj Khalifa

Dubaj, SAE
2010



Výška: 828 m
Počet pater: 163
Nejvyšší budova světa

2 Přehrada Tři soutěsky

Chu-tchang, Čína
2012



Délka: 2 335 m
Výška: 185 m
Největší vodní elektrárna světa

3 Dálnice Džing-jang

Čína
2019



Délka: 164 797 m (164,8 km)
Šířka: 35 m
Nejdelší most na světě

4 Letiště PEK (Daxing)

Peking, Čína
2019



Plocha: 700 000 m²
Počet bran: 79
Jedno z největších letišť světa

5 Ryugyong Hotel

Pchjongjang,
Severní Korea
2017 (dokončeno)



Výška: 330 m
Počet pater: 105
Nejvyšší hotelová budova světa

6 Jaderná elektrárna Taishan

Guangdong, Čína
2018–2022



Instalovaný výkon: 9 200 MW
Reaktorů: 6 (EPR)
Nejvýkonnější jaderná elektrárna světa

2000

2005

2010

2015

2020



Stavby odrážejí schopnost lidstva využít mechanickou práci, materiály a energii k dosažení zdánlivě nemožného.



NEJVĚTŠÍ STAVBY LIDSTVA VE VESMÍRU

Od kosmických stanic po obří teleskopy – největší objekty, které kdy člověk vyslal mimo Zem.

1 INTERNATIONAL SPACE STATION (ISS)

NEJVĚTŠÍ STAVBA VE VESMÍRU



 Hmotnost
≈ 420 tun

 Rozpětí panelů
109 m

 Obytný objem
916 m³

Obíhá Zemi ve výšce přibližně 400 km, obydlená trvale od roku 2000.

2 TIANGONG SPACE STATION

DRUHÁ NEJVĚTŠÍ KOSMICKÁ STANICE



 Hmotnost
≈ 100 tun

 Posádka
3 astronauti

 Trvale obydlená
od roku 2022

Modulární stanice Číny na nízké oběžné dráze Země.

3 JAMES WEBB SPACE TELESCOPE (JWST)

NEJVĚTŠÍ KOSMICKÝ TELESKOP



 Zrcadlo
6,5 m

 Sluneční štít
21 × 14 m

 Pracovní teplota
≈ -223 °C

Pozoruje vesmír v infračerveném záření od roku 2021.

4 HUBBLE SPACE TELESCOPE

NEJSLAVNĚJŠÍ OBSERVATOŘ



 Průměr zrcadla
2,4 m

 V provozu
od roku 1990

 Více než
1,6 milionu
pozorování

Revoluční snímky, které změnily naše chápání vesmíru.

5 VOYAGER 1

NEJVZDÁLENĚJŠÍ LIDSKÝ VÝTVOR



 Vypuštěna
1977

 Mimo heliosféru
od roku 2012

 Vzdálenost od Země
> 25 miliard km

První sonda v mezihvězdném prostoru, nese Zlatou desku.

6 STARLINK

NEJVĚTŠÍ SOUSTAVA DRUŽIC



 Počet družic
> 5 500

 Pokrytí
celosvětové

 Účel
internetové
připojení

Největší komerční síť družic na nízké oběžné dráze Země.

7 PARKER SOLAR PROBE

NEJRYCHLEJŠÍ LIDSKÝ OBJEKT



 Rychlost
až 692 000 km/h

 Nejblíže ke Slunci
~ 6,2 mil. km

 Vypuštěna
2018

Zkoumá korónu Slunce a podmínky vzniku slunečního větru.

8 SPACEX STARSHIP

NEJVĚTŠÍ KOSMICKÁ LOĎ



 Výška
123 m

 Průměr
9 m

 Užitečné zatížení
až 150 tun

Plně znovupoužitelná loď určená pro Měsíc i Mars.



Každý z těchto objektů představuje obrovské množství lidské práce, inženýrství a energie, které posouvají hranice poznání a možností lidstva.



MECHANICKÁ PRÁCE A ENERGIE

DĚJINY LIDSTVA JSOU DĚJINAMI PRÁCE A ENERGIE

ZÁKLADNÍ POJMY

MECHANICKÁ PRÁCE

Práce vykonaná silou F
působící ve směru dráhy s :

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha \quad [\text{J}] \text{ joule}$$

MECHANICKÁ ENERGIE

Schopnost tělesa vykonat práci.

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{kinetická}$$
$$E_p = mgh \quad \text{potenciální}$$

ČASOVÁ OSA VYUŽÍVÁNÍ ENERGIE A STAVEBNÍCH DĚL

1 STAROVĚK ~ 2500 př. n. l. PYRAMIDY V EGYPTĚ



- Miliony kamenných bloků
- Lidská síla, rampy, páky, kladky
- Obrovské množství práce

Zajímavost: Na stavbě Velké pyramidy se odhaduje práce řádu 10^{15} J.

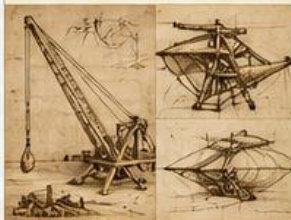
2 STAROVĚKÉ ŘECKO 3. stol. př. n. l. ARCHIMÉDOVY STROJE



- Páky, kladky, klín, šroub
- Archimédův šroub – čerpání vody
- Základy mechanické výhody

„Dejte mi pevný bod a pohnu Zemí.“
– Archimédes

3 RENESANCE 15. století LEONARDO DA VINCI



- Návrhy jeřábů, převodů, mostů, létajících strojů, válečných zařízení
- První systematické studium pohybu, sil a strojních mechanismů

4 PRŮMYSLOVÁ REVOLUCE 18.–19. století PARNÍ STROJE A TOVÁRNÍ



- Přeměna tepelné energie (uhlí) na mechanickou práci
- Parní lokomotivy, lodě, tovární stroje
- Zrod pojmu výkon: $P = \frac{W}{t}$

5 MODERNÍ STAVEBNICTVÍ 20. století MRAKODRAPY A MEGASTAVBY



- Ocelové konstrukce, výtahy, čerpadla
- Obrovská práce je potřeba na zdvihání a přesné umístění materiálů
- Empire State Building (1931): 381 m, 102 pater

6 SOUČASNOST 21. století MEGA-JEŘÁPY A MEGASTROJE



- Jeřáby s nosností tisíců tun
- Důlní rypadla velikosti domů
- Práce strojů, které by nahradily tisíce lidí

7 DOBÝVÁNÍ VESMÍRU 20.–21. století RAKETY A KOSMICKÉ LODĚ



- Největší přeměna chemické energie na mechanickou práci v historii
- Saturn V vynesl 140 tun na oběžnou dráhu, Starship míří ještě dál

VÝVOJ ZDROJŮ ENERGIE

LIDSKÁ SÍLA A ZVÍŘATA



Svalová energie

VÍTR



Větrné mlýny
• mletí obilí
• čerpání vody

VODA



Vodní kola
• mlýny
• pily
• hamry

PÁRA (UHLÍ)



Parní stroje
• továrny
• lokomotivy
• lodě

ELEKTRINA



Elektrárny
• motory
• průmysl
• domácnosti

PALIVA A JADERNÁ ENERGIE



Větší výkon,
vyšší účinnost,
nové technologie

RAKETY



Vesmírné lety,
satelity,
meziplanetární mise

NEJSILNĚJŠÍ STROJE VYKONÁVAJÍCÍ PRÁCI

1 Egyptská rampa



Zdroj energie:
lidská síla
Využití:
zdvihání těžkých
kamenných bloků

2 Archimédův šroub



Zdroj energie:
lidská / vodní síla
Využití:
čerpání vody
do vyšších míst

3 Leonardův jeřáb



Zdroj energie:
lidská / zvířecí síla
Využití:
zdvihání a přesun
břemen

4 Parní lokomotiva



Zdroj energie:
pára (uhlí)
Využití:
přeprava osob
a nákladu

5 Rypadlo Bagger 293



Zdroj energie:
elektřina / nafta
Využití:
těžba uhlí
a zeminy

6 Věžový jeřáb



Zdroj energie:
elektřina
Využití:
stavba budov,
zdvihání materiálů

7 SpaceX Starship



Zdroj energie:
kapalný kyslík + metan
Využití:
vynášení nákladů
a lidí do vesmíru

REKORDMANI PRÁCE A ENERGIE

NEJVĚTŠÍ PYRAMIDA Velká pyramida v Gize



Výška: 146 m
Objem: ~2,6 mil. m³
Odhad práce: ~10¹⁵ J

NEJVYŠŠÍ BUDOVA Burj Khalifa, Dubaj



Výška: 828 m
Pater: 163
Odhad práce na výstavbu:
~10¹⁶ J

NEJVĚTŠÍ PŘEHRADA Tři soutěsky, Čína



Výkon: 22 500 MW
Roční výroba: ~100 TWh
Odhad práce vody:
~10¹⁰ J / rok

NEJVĚTŠÍ DŮLNÍ STROJ Bagger 293



Výška: 96 m
Délka: 220 m
Výkon: 16,6 MW

NEJVĚTŠÍ JEŘÁB Liebherr LR 13000



Nosnost: až 3 000 tun
Výška: 248 m
Výkon: motoru: 2 000 kW

NEJSILNĚJŠÍ RAKETA SpaceX Starship (Super Heavy)



Tah: ~75 MN
Na oběžnou dráhu:
> 100 tun
Energie při startu: ~10¹⁸ J

ZAPŮJENÍ FYZIKY DO KAŽDÉ STAVBY A STROJE

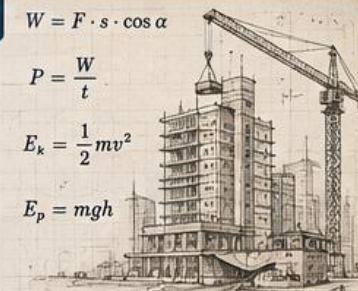
- ✓ Síly způsobují pohyb a změnu tvaru.
- ✓ Práce je vykonána, když síla působí ve směru pohybu.
- ✓ Energie se přeměňuje z jedné formy na druhou.
- ✓ Výkon určuje, jak rychle je práce vykonávána.
- ✓ Každá stavba, každý stroj i každý let do vesmíru jsou důkazem využití mechanické práce a energie.

$$W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$$

$$P = \frac{W}{t}$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

$$E_p = mgh$$



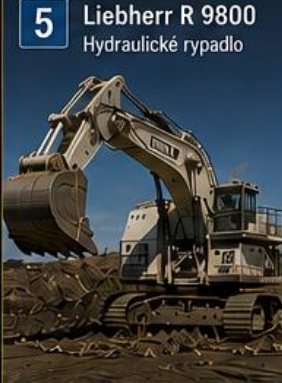
„Od prvních kamenů zvednutých lidskýma rukama až po rakety opouštějící Zemi – vše je o práci, energii a lidské vynalézavosti.“

NEJVĚTŠÍ STROJE MODERNÍ DOBY

Ohromující stroje, které posouvají hranice lidské síly, techniky a inženýrství



STAVEBNÍ STROJE

1 Liebherr LR 13000 Pásový jeřáb	2 Sleipnir Plovoucí jeřáb	3 Bagger 293 Korečkové rypadlo	4 Bagger 283 Korečkové rypadlo	5 Liebherr R 9800 Hydraulické rypadlo	6 LeTourneau 2350 Kolový nakladač	7 BelAZ 75710 Nákladní automobil
						
 Nosnost 3 000 tun	 Nosnost 10 000 tun	 Výška 94,5 m	 Výška 96 m	 Objem lopaty 42 m³	 Objem lopaty 53 m³	 Nosnost 450 tun
 Max. výška 248 m	 Max. výška 220 m	 Délka 220 m	 Délka 240 m	 Provozní hmotnost 810 tun	 Provozní hmotnost 297 tun	 Výkon motoru 4 600 kW
 Hmotnost 1 450 tun	 Hmotnost 21 000 tun	 Hmotnost 45 500 tun	 Hmotnost 13 500 tun	 Výkon motoru 4 000 kW	 Výkon motoru 2 300 kW	 Hmotnost 810 tun
Nejsilnější pásový jeřáb na světě.	Největší plovoucí jeřáb na světě.	Největší pojízdné rypadlo na světě.	Druhé největší rypadlo na světě.	Největší hydraulické rypadlo na světě.	Jeden z největších nakladačů všech dob.	Největší nákladní automobil na světě.

NÁKLADNÍ DOPRAVA

8 MSC Irina Kontejnerová loď	9 Seawise Giant (Knock Nevis) Ropný tanker	10 Antonov An-225 Mriya Nákladní letadlo	11 BHP Iron Ore Train (Pilbara, Austrálie) Nákladní vlak
			
 Délka 399,9 m	 Délka 458,5 m	 Rozpětí křídel 88,4 m	 Délka 7,3 km
 Šířka 61,3 m	 Šířka 68,9 m	 Max. náklad 250 tun	 Hmotnost 99 734 tun
 Kapacita 2 24 346 TEU	 Výtlak (max.) 657 019 tun	 Max. vzletová hmotnost 640 tun	 Náklad 82 000 tun
Největší kontejnerová loď na světě.	Největší loď všech dob podle výtlaku.	Největší nákladní letadlo všech dob.	Největší nákladní vlak na světě.



RAKETY A STRATEGICKÉ ZBRANĚ

12 SpaceX Starship (Super Heavy + Starship) Nosná raketa	13 RS-28 Sarmat (NATO: Satan II) Mezikontinentální balistická střela
	
 Výška 123 m	 Délka 35,5 m
 Průměr 9 m	 Průměr 3 m
 Tah ~7 590 tun	 Dostřel 18 000 km
Největší a nejsilnější raketa na světě.	Největší ICBM ve výzbroji světa.

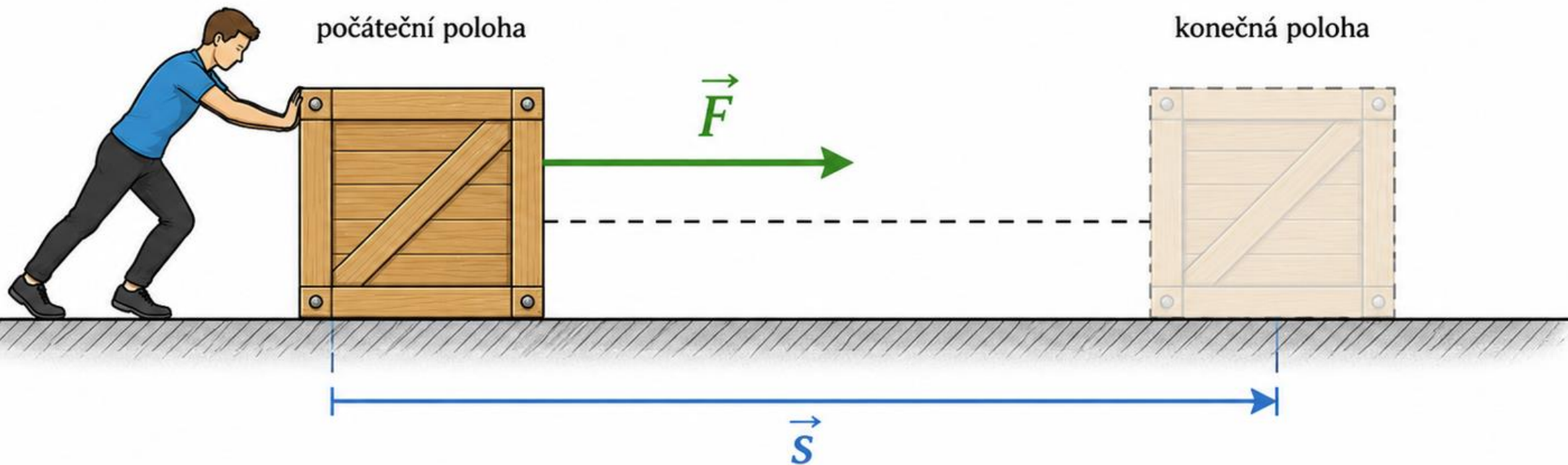


Tyto gigantické stroje nejsou jen technickými zázraky, ale i symbolem lidské vynalézavosti a odvahy posouvat hranice možného.



1. Mechanická práce

Mechanická práce je vykonána silou $\vec{F}$, která působí na těleso a posune ho po dráze $\vec{s}$. Síla je rovnoběžná se směrem posunutí.



Mechanická práce:

$$W = F \cdot s$$

W ... mechanická práce [J] (joule)

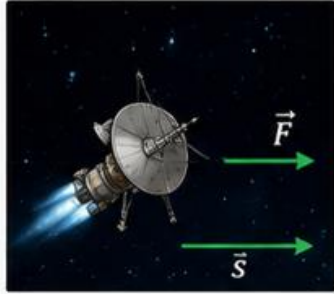
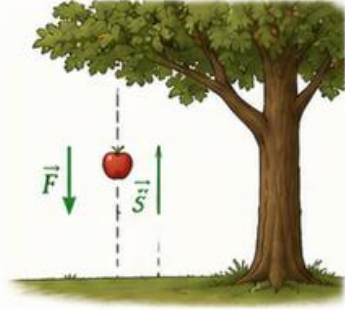
F ... síla [N] (newton)

s ... dráha [m] (metr)

1. Mechanická práce

KDY SE KONÁ MECHANICKÁ PRÁCE

Práce se koná, když síla způsobí posunutí tělesa ve směru působení síly.

✓ Jeřáb zvedá náklad  Síla je nahoru a náklad se posouvá nahoru. Práce se koná.	✓ Tlačení krabice po podlaze  Síla je vodorovně a krabice se posouvá vodorovně. Práce se koná.	✓ Auto zrychluje  Síla motoru působí dopředu a auto se posouvá dopředu. Práce se koná.	✓ Sonda ve vesmíru (zapnutý motor)  Tah motoru působí ve směru pohybu sondy. Práce se koná.	✓ Jablko padá na zem  Gravitační síla působí dolů a jablko se posouvá dolů. Práce se koná.
--	---	--	--	---

KDY SE MECHANICKÁ PRÁCE NEKONÁ

Práce se nekoná, když není žádné posunutí, nebo když je síla kolmá na směr posunutí.

✗ Paní drží tašku s nákupem  Síla svalů směřuje nahoru, ale taška se neposouvá. Práce se nekoná.	✗ Tlačíme zeď  Síla působí na zeď, ale zeď se neposouvá. Práce se nekoná.	✗ Sonda ve vesmíru (rovnoměrný pohyb)  Sonda se pohybuje rovnoměrně přímočaře – není zde síla ve směru pohybu. Práce se nekoná.	✗ Neseme kufr vodorovně  Síla působí nahoru, ale posunutí je vodorovné. Práce se nekoná.	✗ Eskalátor vezoucí člověka  Síla eskalátoru působí podél schodů, ale posunutí je svislé nahoru. Práce se nekoná.
--	---	---	--	---

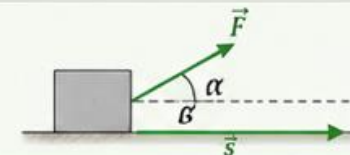
Obecně: $W = F \cdot s \cdot \cos \alpha$

W ... mechanická práce [J] (joule)

F ... síla [N] (newton)

s ... dráha (posunutí) [m] (metr)

α ... úhel mezi směrem síly a směrem posunutí

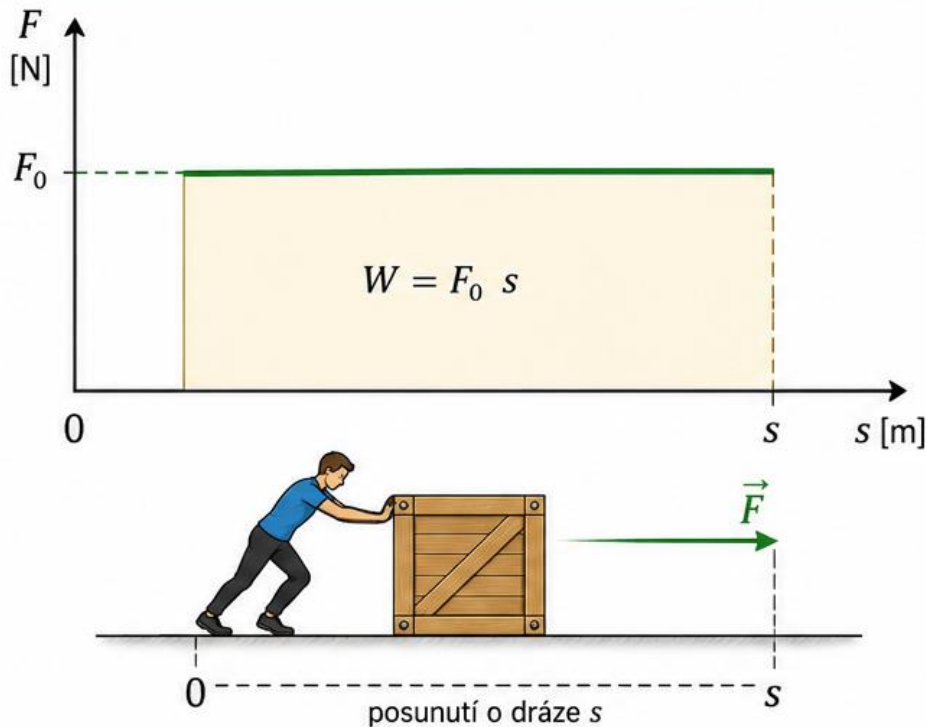


1. Mechanická práce

MECHANICKÁ PRÁCE JAKO OBSAH PLOCHY POD KŘIVKOU SÍLY

Mechanická práce vykonaná silou $\vec{F}$ při posunutí tělesa po dráze s je rovna obsahu plochy pod grafem závislosti složky síly ve směru pohybu na dráze.

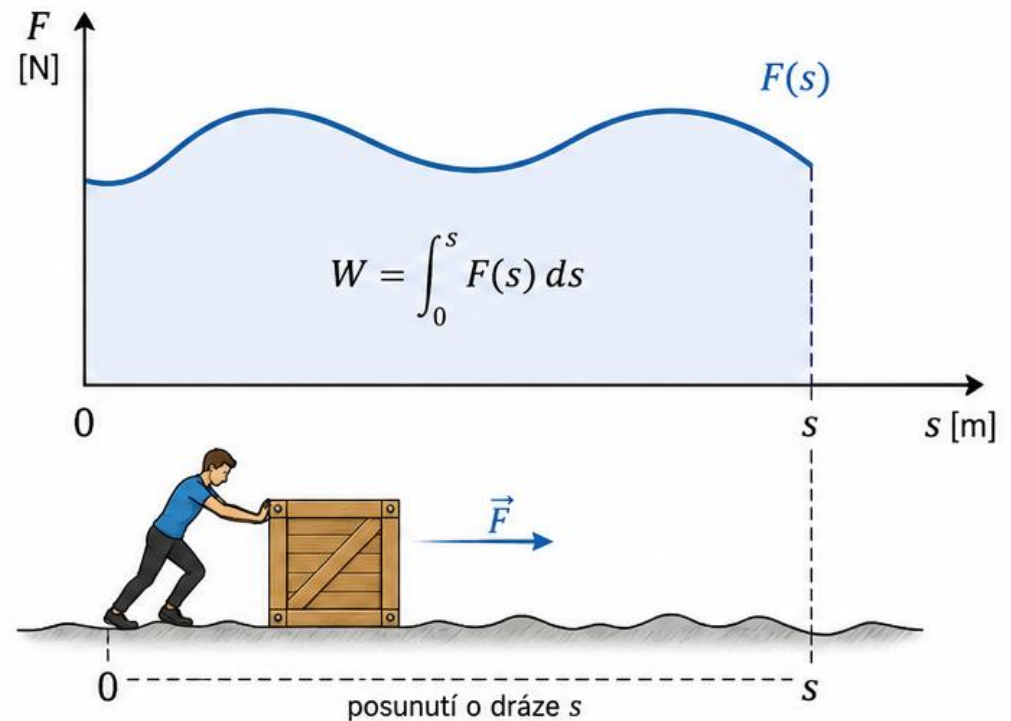
1) KONSTANTNÍ SÍLA



Práce: $W = F_0 \cdot s$

Plocha obdélníku = obsah = základna · výška = $s \cdot F_0$

2) OBECNÁ SÍLA



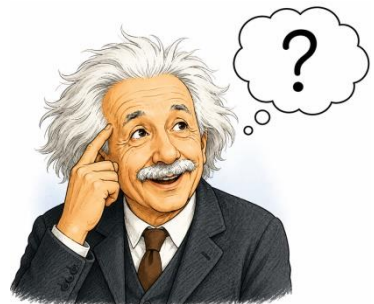
Práce: $W = \int_0^s F(s) ds$

Plocha pod křivkou = obsah = mechanická práce

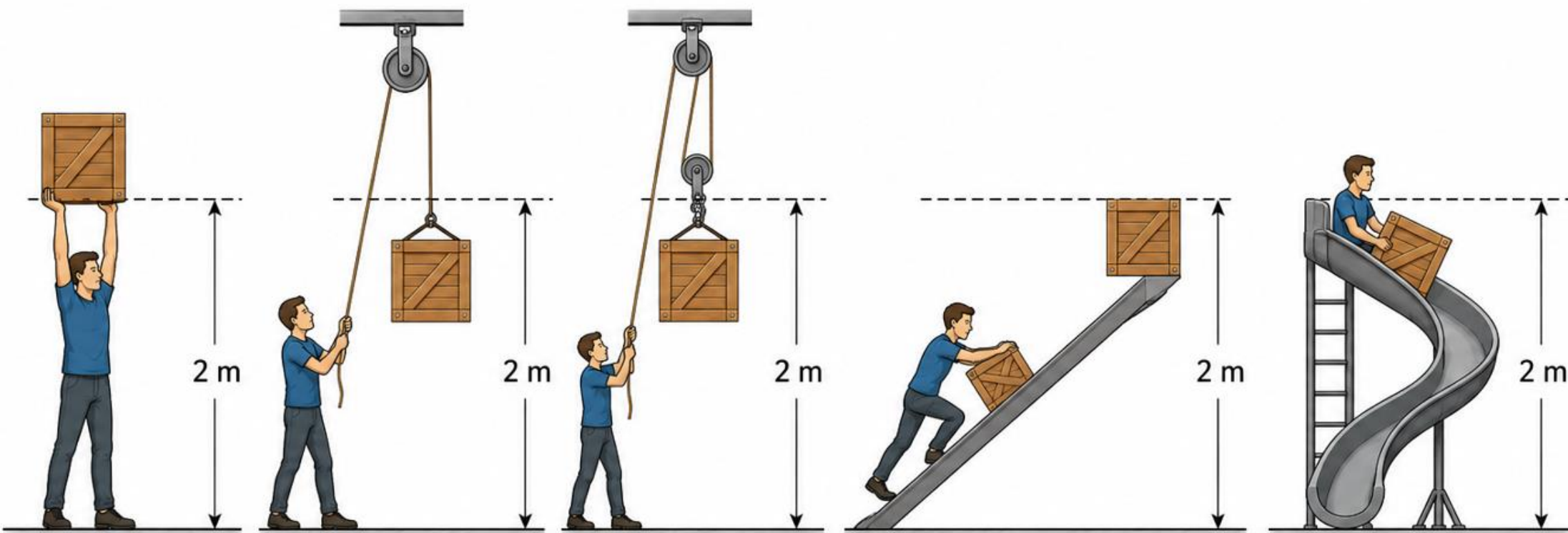
Jestliže síla není rovnoběžná se směrem posunutí, uvažuje se pouze složka síly ve směru pohybu:

$$W = \int_0^s F_{\parallel}(s) ds = \int_0^s F(s) \cos \alpha ds$$

1. Mechanická práce



V které situaci vykoná člověk při zvedání bedny do výšky 2 m největší a nejmenší práci?
Tření a odporové síly zanedbejte.



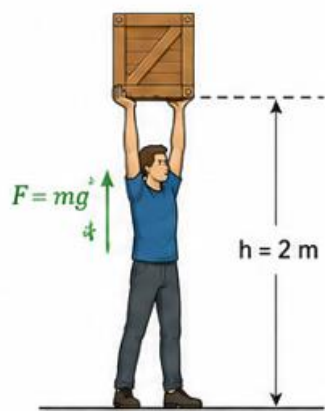
1. Mechanická práce

PRÁCE JAKO ZMĚNA POTENCIÁLNÍ ENERGIE

Bez ohledu na to, jakým způsobem zvedáme těleso do stejné výšky h , vykonaná práce se rovná přírůstku jeho potenciální energie.

Můžeme zvolit menší sílu, ale pak musíme působit po delší dráze.

1) PŘÍMO NAHORU



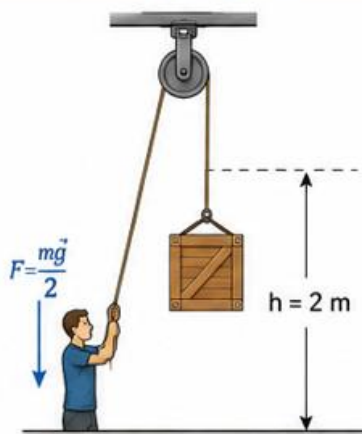
Síla působí svisle nahoru.

$$F = mg$$

$$\text{Dráha: } s = h = 2 \text{ m}$$

$$\text{Práce: } W = F \cdot s = mg \cdot h$$

2) POMOCÍ JEDNODUCHÉ KLDKY



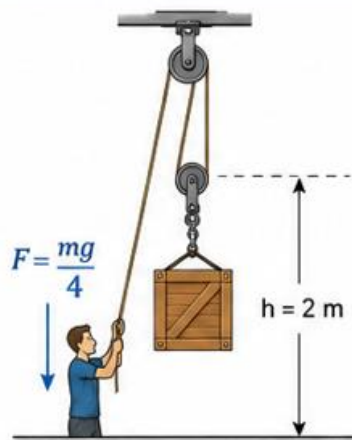
Síla je poloviční, ale působíme po dvojnásobné dráze.

$$F = \frac{mg}{2}$$

$$\text{Dráha: } s = 2h = 4 \text{ m}$$

$$\text{Práce: } W = F \cdot s = mg \cdot h$$

3) POMOCÍ KLDKOSTROJE



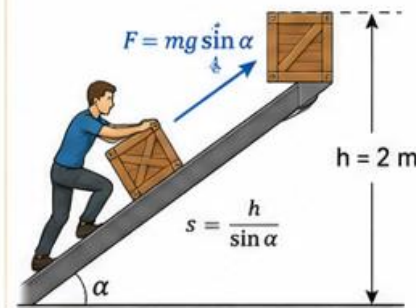
Síla je čtvrtinová, ale působíme po čtyřnásobné dráze.

$$F = \frac{mg}{4}$$

$$\text{Dráha: } s = 4h = 8 \text{ m}$$

$$\text{Práce: } W = F \cdot s = mg \cdot h$$

4) PO NAKLONĚNÉ ROVINĚ



Síla je menší, ale působíme po delší dráze po rovině.

$$F = mg \sin \alpha$$

$$\text{Dráha: } s = \frac{h}{\sin \alpha}$$

$$\text{Práce: } W = F \cdot s = mg \cdot h$$

5) PO TOBOGÁNU



Síla je velmi malá (téměř bez tření), ale působíme po velmi dlouhé dráze.

$$F \approx 0$$

$$\text{Dráha: } s \gg h$$

$$\text{Práce: } W = F \cdot s = mg \cdot h$$



Ve všech případech zvedneme těleso o stejnou výšku $h = 2 \text{ m}$.

Zvýšíme jeho potenciální energii o $\Delta E_p = mgh$.

Vykonaná práce je vždy stejná:

$$W = \Delta E_p = mgh$$

W ... vykonaná práce [J]

ΔE_p ... změna potenciální energie [J]

m ... hmotnost tělesa [kg]

g ... tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

h ... výška [m]

2. Potenciální energie – definice.

POTENCIÁLNÍ ENERGIE

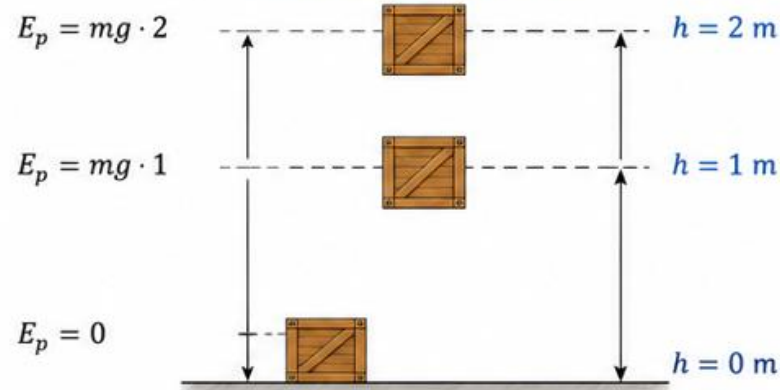
Potenciální energie tělesa je energie, kterou má těleso díky své poloze v gravitačním poli Země.
Udává, kolik práce může vykonat při změně své polohy.

VZOREC

$$E_p = mgh$$

E_p ... potenciální energie [J]
 m ... hmotnost tělesa [kg]
 g ... tíhové zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]
(na Zemi přibližně $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$)
 h ... výška nad zvolenou nulovou hladinou [m]

ZÁVISLOST NA VÝŠCE



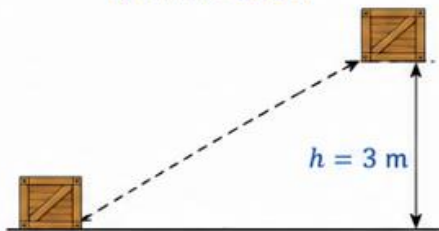
Čím výše se těleso nachází nad nulovou hladinou, tím větší potenciální energii má.

Dvojnásobná výška $\rightarrow$ dvojnásobná E_p

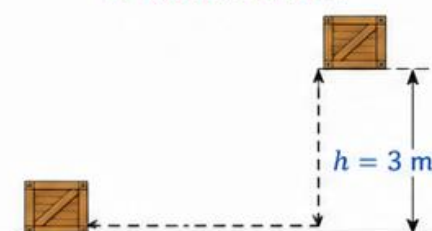
NEZÁVISLOST NA TRAJEKTORII

Změna potenciální energie ΔE_p závisí pouze na počáteční a konečné poloze tělesa, nikoli na dráze, po které se těleso pohybuje.

1) PŘÍMÁ CESTA



2) LÁMANÁ CESTA



3) KŘIVOLAKÁ CESTA



Ve všech případech:
 $\Delta E_p = mg \cdot h$
je stejná.

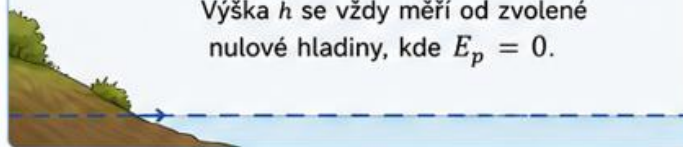


Při zvednutí tělesa o výšku h se vykoná práce $W = mg \cdot h$, která se rovná přírůstku jeho potenciální energie.

$$W = \Delta E_p = mg \cdot h$$

NULOVÁ HLADINA

Výška h se vždy měří od zvolené nulové hladiny, kde $E_p = 0$.



SHRNUTÍ

- Potenciální energie závisí na výšce tělesa.
- Nezávisí na trajektorii pohybu.
- Je dána vzorcem $E_p = mgh$.
- Změna potenciální energie je $\Delta E_p = mg\Delta h$.

2. Potenciální energie v praxi.

VYUŽITÍ POTENCIÁLNÍ ENERGIE V PRAXI

Potenciální energie se ukládá, když těleso zvedneme do výšky nebo deformujeme pružinu.

Později se může přeměnit na pohyb, elektřinu, teplo nebo jinou formu energie.

1) PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNA



Voda se čerpá do horní nádrže. Při vypouštění dolů roztáčí turbíny a vyrábí elektřinu.

2) VODOJEM



Voda je uložena vysoko. Samospádem pak teče potrubím do domácností.

3) HORSKÁ DRÁHA



Vlášek je vytažen na kopec. Při jízdě dolů se potenciální energie mění na pohyb.

4) KYVADLOVÉ HODINY



Závaží má potenciální energii. Při klesání pohání převody a udržuje chod hodin.

CO MAJÍ VŠECHNY TYTO SITUACE SPOLEČNÉ?

$$E_p = mgh$$

Potenciální energie tělesa o hmotnosti m ve výšce h v tíhovém poli se Země.

5) LUKOSTŘELBA



Napnutý luk má pružnou potenciální energii. Po uvolnění se přemění na pohyb šípu.

6) PEVNÁ PRUŽINA



Stlačená pružina má pružnou potenciální energii, kterou může uvolnit.

7) GRAVITAČNÍ BATERIE (ENERGY VAULT)



Těžké bloky se zvedají do výšky. Při spouštění dolů se energie mění na elektřinu.

8) LAVINA



Sníh vysoko na svahu má velkou potenciální energii, která se uvolní a způsobí pohyb laviny.



Potenciální energie je energie polohy.

Čím výše se těleso nachází (nebo čím více je pružina stlačena/napnuta), tím více energie může vykonat.

Změna potenciální energie při změně výšky:

$$\Delta E_p = mg \Delta h$$

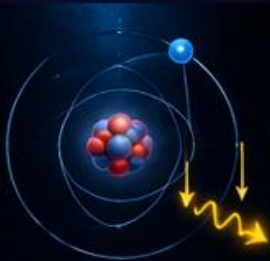
2. Přeměny potenciální energie.

POTENCIÁLNÍ ENERGIE OD ATOMŮ PO TEMNOU HMOTU

Potenciální energie je energie, kterou má soustava díky své poloze, uspořádání nebo vzájemnému působení částí.

Vzniká působením konzervativních sil a může se přeměnit na jiné formy energie.

1 ELEKTRON V ATOMU



Potenciální energie: elektromagnetická

- Elektron na vyšší energetické hladině má větší potenciální energii.
- Při přeskočení na nižší hladinu se uvolní energie ve formě fotonu: $\Delta E = hf$

Příklady:



2 CHEMICKÁ VAZBA



Potenciální energie: chemická

- Uložena ve vazbách mezi atomy a molekulami.
- Při chemické reakci se vazby přeskupí a energie se uvolní jako teplo, světlo nebo práce.
- Energie paliv, potravin i baterií.



3 ATOMOVÉ JÁDRO



Potenciální energie: jaderná

- V jádře působí silná jaderná síla, která drží nukleony pohromadě.
- Při štěpení těžkých jader (např. ^{235}U) se uvolní energie.
- Při fúzi lehkých jader (ve Slunci) se také energie uvolní.

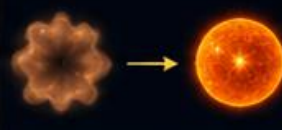


4 HVĚZDA (SLUNCE)



Potenciální energie: gravitační

- Při vzniku hvězdy se hmota smršťuje vlivem gravitace.
- Gravitační potenciální energie klesá a přeměňuje se na teplo a záření.
- Udrží hvězdu zářící miliardy let.



Kolaps molekulárního oblaku

5 NEUTRONOVÁ HVĚZDA



Extrémní gravitační potenciální energie

- Po výbuchu supernovy se jádro hvězdy zhroutí do objektu o velikosti ~10 km.
- Hustota je obrovská (≈ hmotnost Slunce v objemu města).
- Při vzniku se uvolní více energie než Slunce vyžáří za miliardy let.

Energie uvolněná při zrodu neutronové hvězdy ~ 10^{46} J

6 ČERNÁ DÍRA



Nejhlubší známá gravitační jáma

- Hmota padající do černé díry klesá do hlubokého gravitačního potenciálu.
- Její potenciální energie se mění na jiné formy:
 - teplo (akreční disk)
 - rentgenové záření
 - relativistické výtrysky
- Účinnost přeměny může dosáhnout až desítek procent klidové energie hmoty!

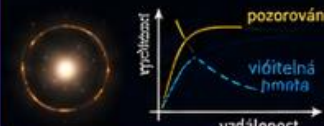
$\eta \leq 0,3 - 0,4$
(mnohem více než jaderné reakce)

7 TEMNÁ HMOTA



Neyiditelná gravitační potenciální energie

- Temnou hmotu přímo nevidíme, ale její gravitační účinky ano.
- Vytváří gravitační potenciál, v němž se pohybují galaxie a galaktické kupy.
- Důkazy:
 - rotace galaxií
 - gravitační čočky
 - pohyb galaktických kup



CO MAJÍ VŠECHNY TYTO JEVY SPOLEČNÉ?

PŘEMĚNU POTENCIÁLNÍ ENERGIE NA JINÉ FORMY ENERGIE.

OBECNĚ

Potenciální energie E_p vzniká působením konzervativních sil (elektrická, gravitační, jaderná, ...).

Práce vykonaná těmito silami při změně polohy soustavy je rovna změně potenciální energie:

$$W = \Delta E_p$$

TYPY POTENCIÁLNÍ ENERGIE



ELEKTRICKÁ (EM)

$$E_p = k \frac{q_1 q_2}{r}$$



CHEMICKÁ

Uložena ve vazbách mezi atomy a molekulami.



JADERNÁ

Uložena v jádře díky silné interakci mezi nukleony.



GRAVITAČNÍ

$$E_p = mgh$$

(blízko Země)

$$E_p = -\frac{GMm}{r}$$

(obecně)

ZÁVĚREM

- Od mikroskopických částic po největší struktury vesmíru – potenciální energie je skrytý zdroj, který formuje náš svět.

VEŠKERÉ STRUKTURY VE VESMÍRU EXISTUJÍ DÍKY POTENCIÁLNÍ ENERGIÍ A JEJÍM PŘEMĚNÁM.

3. Kinetická energie.

KINETICKÁ ENERGIE

Kinetická energie je energie, kterou má těleso díky svému pohybu.

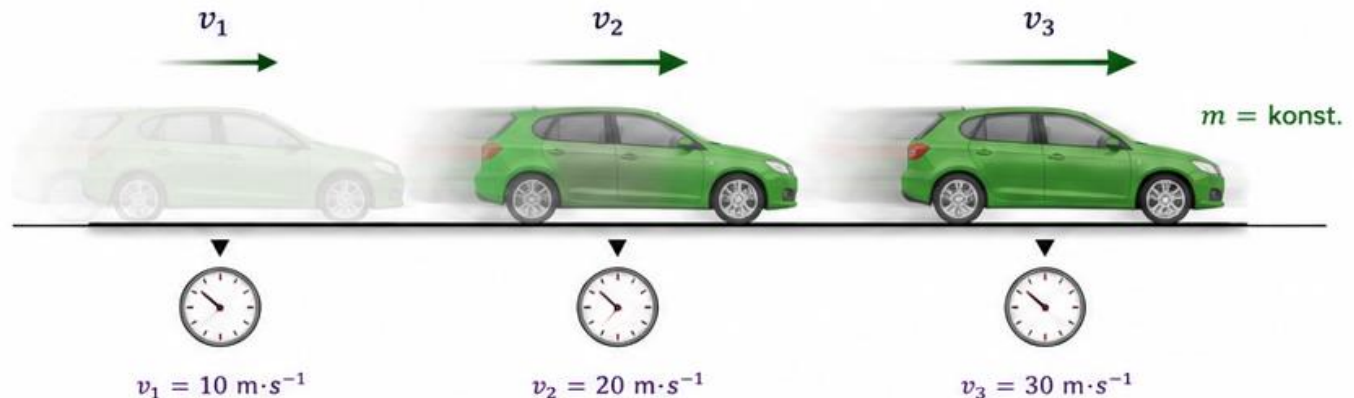
VZOREC

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

E_k ... kinetická energie tělesa [J]

m ... hmotnost tělesa [kg]

v ... rychlost tělesa vzhledem
k zvolenému vztažnému bodu [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]



$$v_1 = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_2 = 20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$v_3 = 30 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$E_{k1} = \frac{1}{2} m (10)^2$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2} m (20)^2 = 4 \cdot E_{k1}$$

$$E_{k3} = \frac{1}{2} m (30)^2 = 9 \cdot E_{k1}$$

PROČ JE TAM 1/2 ?

Při zrychlování tělesa z klidu na rychlost v působí na těleso síla F . Pro vykonání práce (dodání energie) musíme těleso urychlovat. Síla působí po celou dobu zrychlování, ale průměrná rychlost během zrychlování je poloviční než konečná rychlost.



Práce (energie) vykonaná silou F na dráze s :

$$W = F \cdot s = ma \cdot s \quad \text{Z rovnice } v^2 = 2as \Rightarrow s = \frac{v^2}{2a}$$

Dosazením:

$$W = ma \cdot \frac{v^2}{2a} = \frac{1}{2} m v^2 = \text{kinetická energie } E_k$$

VYSVĚTLENÍ

Kinetická energie roste s druhou mocninou rychlosti.

To znamená, že když zvýšíme rychlost dvakrát, kinetická energie se zvětší čtyřikrát; při trojnásobné rychlosti je devětkrát větší.

Rychlost v ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Relativní rychlost	Kinetická energie E_k	Relativní E_k
10	1×	$\frac{1}{2} m \cdot 10^2$	1×
20	2×	$\frac{1}{2} m \cdot 20^2$	4×
30	3×	$\frac{1}{2} m \cdot 30^2$	9×



Kinetická energie je vždy nezáporná ($E_k \geq 0$).

Těleso s větší hmotností nebo větší rychlostí má větší kinetickou energii.

Jednotka kinetické energie je joule (J): $1 \text{ J} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$.

3. Kinetická energie kolem nás.

VYUŽITÍ KINETICKÉ ENERGIE V PRAXI

Kinetická energie je energie, kterou má těleso díky svému pohybu. V technice a v přírodě ji denně využíváme.

1 BRZDĚNÍ AUTOMOBILU



Princip:
Kinetická energie vozidla se mění na teplo v brzdách a pneumatikách.



Zajímavost:

Dvojnásobná rychlost znamená čtyřnásobnou kinetickou energii.

$$50 \text{ km/h} \rightarrow E_k$$

$$100 \text{ km/h} \rightarrow 4 E_k$$

2 VODNÍ MLÝN A VODNÍ ELEKTRÁRNA



Princip: Kinetická energie proudící nebo padající vody roztáčí lopatky.

Přeměna energie:

$$E_k (\text{vody}) \rightarrow E_{\text{mechanická}} (\text{turbíny}) \rightarrow E_{\text{elektrická}} (\text{generátor})$$

3 VĚTRNÝ MLÝN A VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA



Princip: Kinetická energie proudícího vzduchu se mění na rotační pohyb lopatek.



Energie větru je obnovitelná a čistá. Využíváme ji po tisíce let.

VZOREC

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2$$

E_k ... kinetická energie [J]

m ... hmotnost tělesa [kg]

v ... rychlost tělesa [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

4 STŘELNÉ ZBRANĚ

KLASICKÁ PUŠKA



Prachové plyny udělí střele vysokou rychlost.

ELEKTROMAGNETICKÉ DĚLO (RAILGUN)



Střela je urychlena elektromagnetickou silou mezi vodivými lištami.

Princip: Kinetická energie střely způsobuje účinek po zásahu cíle.

Srovnání rychlostí střely:



klasické pušky:
~ 800–1 000 m/s



railgun (laboratorní):
2 000–7 000 m/s



Vyšší rychlost = mnohem větší kinetická energie.

5 HORSKÁ DRÁHA



Princip: Při jízdě z kopce se potenciální energie $E_p = mgh$ mění na kinetickou energii $E_k = \frac{1}{2} m v^2$.



V nejnižším bodě dráhy je rychlost (vyjma ztrát třením) největší, a tedy i kinetická energie.

6 VODNÍ SPORTY



Princip: Vodák, surfař nebo raft využívá kinetickou energii proudící vody.



Proudící voda má kinetickou energii díky své rychlosti a hmotnosti.



Kinetická energie je energie pohybu.

V technice ji využíváme k pohonu strojů, výrobě elektřiny, dopravě i přenosu energie na cíl.



3. Kinetická energie částic a vesmírných jevů.

KINETICKÁ ENERGIE OD ATOMU PO VESMÍR

Energie pohybu je základním hybatelem dění ve všech měřítcích – od nejmenších částic až po celý vesmír.

1 Srážky částic v CERN



V největším urychlovači částic na světě (LHC) se protony zrychlují téměř na rychlost světla a pak se srážejí.

Při srážce se obrovská kinetická energie přemění na nové částice a umožňuje zkoumat nejzákladnější zákony přírody.

Objev Higgsova bosonu (2012)

Potvrdil existenci pole v prostoru, které dává hmotnost všem ostatním částicím. Bez něj by částice neměly hmotnost a nemohly by existovat atomy, hvězdy ani my.

2 Meteority – když se vesmír řítí k Zemi

Kinetická energie těles letících kosmickou rychlostí je obrovská. I relativně malé objekty mohou způsobit katastrofu.

Tunguzský meteorit (1908)



Průměr: ~50–100 m
Rychlost: ~15 km/s
Energie: ~10–20 megaton TNT
Účinek: výbuch v atmosféře, zničení ~2 000 km² tajgy až 80 milionů stromů.

Čeljabinský meteorit (2013)



Průměr: ~17–20 m
Rychlost: ~19 km/s
Energie: ~500 kiloton TNT
Účinek: rázová vlna, poškození budov, více než 1 500 zraněných.

Meteorit, který zlikvidoval dinosaury (K–Pg, před 66 miliony let)



Průměr: ~10–15 km
Rychlost: ~20 km/s
Energie: ~100 milionů megaton TNT
Účinek: globální změna klimatu, zánik ~75 % druhů na Zemi, včetně dinosaurů.

Kinetická energie roste s druhou mocninou rychlosti – malé změny rychlosti nebo velikosti znamenají obrovské rozdíly v ničivých účincích.

3 Akreační disk kolem černé díry



Plyn a prach spirálovitě padají do černé díry.

Při pádu ztrácejí gravitační potenciální energii a získávají obrovskou kinetickou energii.

Tření a srážky částic v akreačním disku ohřívají hmotu na miliony až miliardy stupňů – září hlavně v rentgenové oblasti. Jde o jeden z neenergetičtějších jevů ve vesmíru.

4 Sluneční vítr – kinetická energie ze Slunce



Slunce neustále vypouští proud nabitých částic – sluneční vítr. Tyto částice letí rychlostmi 300–800 km/s. Jejich kinetická energie vytváří polární záře, může rušit družice, radiové spojení i elektrické sítě na Zemi.



Výkon slunečního větru dopadající na Zemi je ~10¹⁴ wattů – stokrát více než celosvětová spotřeba energie lidstva.

5 Kinetická energie na největších škálách



Galaxie se od sebe vzdalují – vesmír se rozpíná. Pozorujeme, že se rozpíná stále rychleji. Tuto akceleraci způsobuje tzv. **temná energie**. Rozpínání vesmíru znamená, že hmota na velkých vzdálenostech získává kinetickou energii – čím je galaxie dál, tím rychleji se vzdaluje.



Nejvzdálenější známé galaxie se od nás vzdalují rychlostmi přesahujícími milion kilometrů za sekundu.

OD NEJMENŠÍCH ČÁSTIC PO CELÝ VESMÍR



V mikrosvětě srážky částic odhalují skryté vlastnosti hmoty a ukazují, jak vzniká hmotnost částic.



V našem okolí mohou i malá tělesa s obrovskou rychlostí uvolnit ničivou energii a změnit historii planety.



V extrémních podmínkách vesmíru se kinetická energie přeměňuje na záření a ohřívá hmotu na neuvěřitelné teploty.



Naše hvězda nám předává energii částic, která ovlivňuje celou Sluneční soustavu.



A ve velkém měřítku vlastní vesmír dynamiku – rozpíná se a celé galaxie získávají kinetickou energii.



Kinetická energie je energie pohybu. Je všude kolem nás – formuje částice, planety, hvězdy i celý vesmír.

Bez kinetické energie by nebyl život, světlo ani samotný vývoj kosmu.

3. Zákon zachování Ek a pružný ráz.

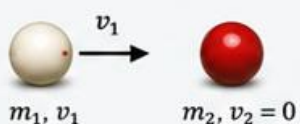
ZÁKON ZACHOVÁNÍ KINETICKÉ ENERGIE – PRUŽNÝ RÁZ TĚLES

Při pružném rázu dvou těles, která spolu krátce interagují a na která nepůsobí žádné vnější síly, se zachovává celková hybnost soustavy i celková kinetická energie.

PŘÍKLAD: KULEČNÍKOVÉ KOULE



1. PŘED RÁZEM



2. BĚHEM RÁZU



3. PO RÁZU

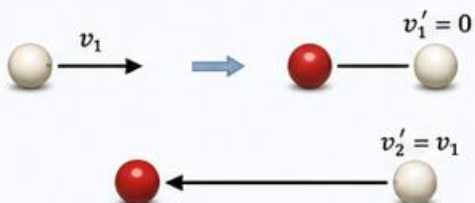


Ideální (pružný) ráz: koule se nepostrácí energii (zanedbáme tření, deformace a zvuk).

ZVLÁŠTNÍ PŘÍPAD: STEJNÉ KOULE ($m_1 = m_2$)

Druhá koule v klidu ($v_2 = 0$)

Po rázu si koule vymění rychlosti.



Obě koule se pohybují

Rychlosti po rázu lze spočítat ze vzorců:

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{2m_2}{m_1 + m_2} v_2$$

$$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1 + \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_2$$

ZÁKONY ZACHOVÁNÍ PŘI PRUŽNÉM RÁZU

1) Zákon zachování hybnosti

Celková hybnost před rázem = celková hybnost po rázu

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'$$

kde m_i ... hmotnosti těles, v_i ... rychlosti před rázem, v_i' ... rychlosti po rázu

2) Zákon zachování kinetické energie

Celková kinetická energie před rázem = celková kinetická energie po rázu

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2$$

Pružný ráz: zachována hybnost i kinetická energie

Nepružný ráz: zachována jen hybnost (část kinetické energie se ztratí)

ZAJÍMAVOSTI

- ★ Pružný ráz je ideální případ. V reálném světě se vždy část energie mění na teplo, zvuk nebo deformaci.
- ★ Kulečník profesionálů využívá téměř dokonale pružné rázy – ztráty energie při srážce koulí jsou menší než 1 %.
- ★ Principy rázu se uplatňují v mnoha oblastech: od částic v urychlovačích (např. CERN), přes nárazové testy airbagů, až po sport (golf, tenis, hokej).



Při pružném rázu dvou těles bez vnějších sil se zachovává hybnost i kinetická energie.
Žádná energie se neztrácí – pouze se přenáší z jednoho tělesa na druhé.

4. Mechanická energie a ZZE.

MECHANICKÁ ENERGIE A ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE

Energie se v uzavřeném systému nemění, pouze se přeměňuje z jedné formy na jinou.

KYVADLO – PŘEMĚNY MECHANICKÉ ENERGIE

1 LEVÁ KRAJNÍ POLOHA

- výška maximální
- rychlost nulová

$$E_p = \max$$
$$E_k = 0$$

2 DOLNÍ POLOHA

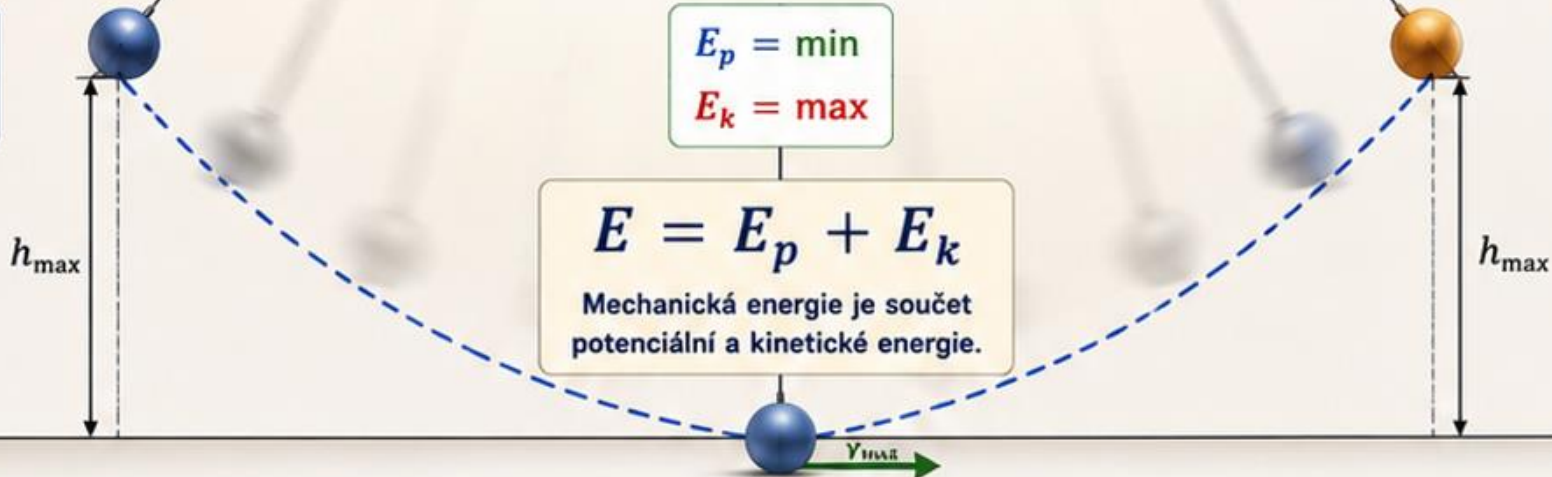
- výška minimální
- rychlost maximální

$$E_p = \min$$
$$E_k = \max$$

3 PRAVÁ KRAJNÍ POLOHA

- výška maximální
- rychlost nulová

$$E_p = \max$$
$$E_k = 0$$



IDEÁLNÍ PŘÍPAD – BEZ ZTRÁT

Kyvadlo se pohybuje bez odporu vzduchu a tření v závěsu.

$$E = \text{konst.}$$

Potenciální energie se mění na kinetickou a zpět.

Celková mechanická energie zůstává stejná.

REÁLNÝ PŘÍPAD – SE ZTRÁTAMI

Při reálném pohybu se část mechanické energie mění na jiné formy energie.

$E_{\text{mechanická}}$



$E_{\text{tepelná}}$

$E_{\text{mechanická}}$



$E_{\text{zvuková}}$

Příčina:

- tření v závěsu
- odpor vzduchu

4. ZZE ve Vesmíru.



ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE

Energii nelze vytvořit ani zničit. Lze ji pouze přeměňovat z jedné formy na jinou.

KDE VŠUDE SE ENERGIE POUZE PŘEMĚŇUJE? – PŘÍKLADY Z PRAXE

HORSKÁ DRÁHA



E_p (nahore) $\rightarrow E_k$ (dole)
a zpět

VODNÍ ELEKTRÁRNA



E_p (vody) $\rightarrow E_k$ (vody)
 $\rightarrow E_{mechanická} \rightarrow E_{elektrická}$

LUK A ŠÍP



$E_{mechanická}$ (natažení)
 $\rightarrow E_k$ (šípů)

AUTOMOBIL



$E_{chemická}$ (paliva)
 $\rightarrow E_k$ (pohybu) + teplo

RAKETA



$E_{chemická}$ (paliva)
 $\rightarrow E_k$ (rakety) + teplo + záření

Všude dochází pouze k přeměně jedné formy energie v jinou.

CO JE MECHANICKÁ ENERGIE?

Mechanická energie je energie spojená s polohou a pohybem těles.

Je dána součtem potenciální a kinetické energie:

$$E_{mechanická} = E_p + E_k$$

Jednotka: joule (J)

Skalární veličina

ZTRÁTY ENERGIE – PROČ NA NĚ NESMÍME ZAPOMÍNAT

Ve skutečnosti je vždy část mechanické energie přeměněna na jiné formy.



TEPLO

vykurování těles,
ohřev okolí



ZVUK

hluk, vibrace,
zvukové vlny



DEFORMACE

pružné i trvalé
deformace těles

Čím menší jsou ztráty, tím lépe lze využít mechanickou energii.

ZAJÍMAVOST

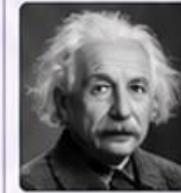
PLATÍ ZÁKON ZACHOVÁNÍ ENERGIE
V CELÉM VESMÍRU?



V mnoha oblastech fyziky

V laboratorní fyzice, mechanice, elektřině,
atomové fyzice i v každodenním životě
platí zákon zachování energie výborně.

Obecná relativita – složitější situace



V rozpínajícím se vesmíru světlo
putující miliardy let ztrácí energii
kosmologickým rudým posuvem –
fotony mají stále menší frekvenci.

Otázka: Kam se energie ztratila?
Nemáme jednoduchou odpověď.

Současný pohled kosmologie



V lokálních soustavách (galaxie, hvězdy, planety):
 $E = \text{konst.}$ $\rightarrow$ platí velmi přesně.



V celém rozpínajícím se vesmíru:
Globální zákon zachování energie nemusí být
definován tak jednoduše jako v Newtonově
mechanice.

Je to jeden z nejzajímavějších rozdílů mezi klasickou
fyzikou a obecnou relativitou.

„Mechanická energie se může ztrácet, celková energie nikoli –
pouze mění svou podobu.“

* V měřítku celého vesmíru je otázka
zachování energie stále předmětem
diskusí v moderní kosmologii.



4. Vzájemné přeměny E_p a E_k .

PŘEMĚNY KINETICKÉ A POTENCIÁLNÍ ENERGIE

Kinetická energie E_k (energie pohybu) a potenciální energie E_p (energie polohy nebo stavu) se neustále přeměňují.

Celková mechanická energie $E_m = E_k + E_p$ zůstává zachována, pokud zanedbáme ztráty třením a odporem prostředí.

$E_k \rightarrow E_p$ KINETICKÁ ENERGIE SE MĚNÍ NA POTENCIÁLNÍ

1 MÍČ VYHOZENÝ VZHŮRU



Při výstupu míč zpomaluje, rychlost klesá a výška roste.

$E_k \rightarrow E_p$ (gravitační)

2 SKATEBOARDISTA V U-RAMPĚ



Dole má max. E_k , na vrcholu max. E_p .

$E_k \rightarrow E_p$ (gravitační)

3 RAKETA PO VYPNUTÍ MOTORŮ



Raketa stoupá setrvačností, rychlost klesá a výška roste.

$E_k \rightarrow E_p$ (gravitační)

$E_p \rightarrow E_k$ POTENCIÁLNÍ ENERGIE SE MĚNÍ NA KINETICKOU

4 HORSKÁ DRÁHA



Ve vrcholech má vozík max. E_p , v údolích max. E_k .

$E_p \rightarrow E_k$ (gravitační)

5 VODOPÁD



Voda vysoko má velkou E_p , při pádu se mění na E_k .

$E_p \rightarrow E_k$ (gravitační)

6 PÁD METEORITU NA ZEMI

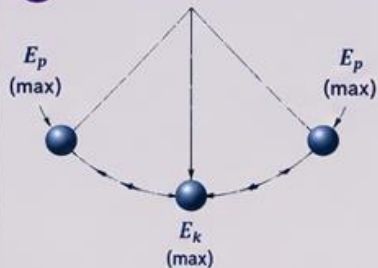


Obrovská E_p se při pádu mění na obrovskou E_k .

$E_p \rightarrow E_k$ (gravitační)

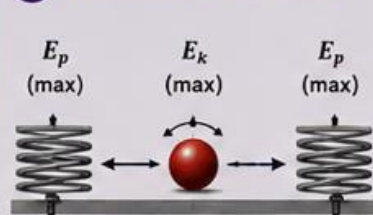
CYKICKÉ PŘEMĚNY – ENERGIE SE NEUSTÁLE PŘEMĚŇUJE TAM A ZPĚT

13 KYVADLO



$E_k \leftrightarrow E_p$ (gravitační)

14 PRUŽINOVÝ OSCILÁTOR



$E_k \leftrightarrow E_p$ (pružnosti)

15 BUNGEE JUMPING



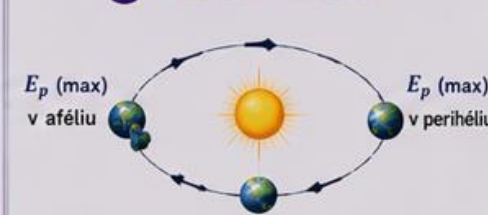
E_p (gravitační) $\leftrightarrow E_k \leftrightarrow E_p$ (pružnosti)

16 DĚTSKÁ HOUPAČKA



$E_k \leftrightarrow E_p$ (gravitační)

17 PLANETÁRNÍ OBĚH



V eliptické dráze se neustále mění E_p gravitační a E_k .



Stejná fyzika popisuje dětskou houpačku, horskou dráhu, pád meteoritu i procesy kolem černých děr.

Přeměna energie je univerzálním jazykem přírody.



4. Vzájemné přeměny energií.

PŘEMĚNY ENERGIE KOLEM NÁS

KLASICKÉ A TRADIČNÍ PŘEMĚNY, KTERÉ KAŽDODENNĚ VYUŽÍVÁME

1. MECHANICKÁ → ELEKTRICKÁ ALTERNÁTOR



- vodní elektrárna
- větrná elektrárna
- automobil



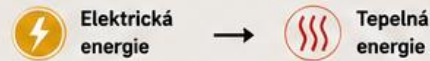
2. ELEKTRICKÁ → MECHANICKÁ ELEKTROMOTOR



3. ELEKTRICKÁ → TEPELNÁ TOPNÁ SPIRÁLA



- rychlovarná konvice
- elektrická trouba
- fén



4. TEPELNÁ → ELEKTRICKÁ TERMOČLÁNEK



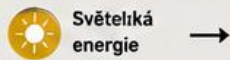
- kosmické sondy
- termoelektrické generátory



5. ELEKTRICKÁ → SVĚTELNÁ LED DIODA



Elektrická energie se mění na světlo s vysokou účinností.



6. SVĚTELNÁ → ELEKTRICKÁ FOTOVOLTAICKÝ PANEĽ



Světelná energie (Slunce) se mění na elektrickou.



7. ZVUKOVÁ → ELEKTRICKÁ MIKROFON



Zvukové vlny rozkmitají membránu mikrofону a vzniká elektrický signál.



8. ELEKTRICKÁ → ZVUKOVÁ REPRODUKTOR



Elektrický signál rozkmitá membránu reproduktoru a vzniká zvuk.



9. CHEMICKÁ → ELEKTRICKÁ BATERIE



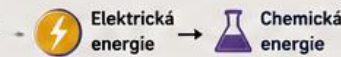
Chemická energie uložená v baterii se mění na elektrickou.



10. ELEKTRICKÁ → CHEMICKÁ NABÍJENÍ AKUMULÁTORU



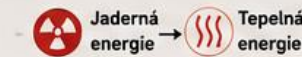
Elektrická energie se ukládá do chemické energie v akumulátoru.



11. JADERNÁ → TEPELNÁ JADERNÝ REAKTOR



Při štěpení jader se uvolňuje teplo, které ohřívá vodu.



12. TEPELNÁ → MECHANICKÁ PARNÍ TURBÍNA



Pára (teplo) roztáčí turbínu a vzniká pohyb (mechanická energie).



Energie se neztrácí, pouze se mění z jedné formy na jinou.

Právě přeměny energií nám umožňují žít pohodlněji, bezpečněji a využívat sílu přírody i techniky.

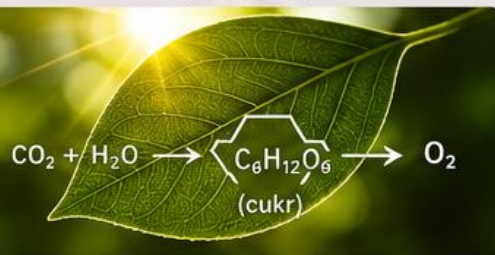


4. Překvapivé přeměny energií.

EXOTICKÉ PŘEMĚNY ENERGII

Méně známé, ale fascinující způsoby, jak se energie může měnit z jedné formy na jinou.

1 SVĚTELNÁ → CHEMICKÁ FOTOSYNTÉZA



Rostliny pohlcují světlo a přeměňují ho na chemickou energii v podobě cukrů. Základ života na Zemi.

2 MECHANICKÁ → SVĚTELNÁ TRIBOLUMINISCENCE



Při drcení cukru, krystalu nebo určitých minerálů se uvolní světlo. Energie mechanického namáhání se mění přímo na světlo.

3 MECHANICKÁ → ELEKTRICKÁ PIEZOELEKTRICKÝ ZAPALOVAČ



Stlačením krystalu vznikne elektrický náboj, který přeskočí jako jiskra a zapálí plyn. Mechanická energie → elektrická energie.

4 ELEKTRICKÁ → CHEMICKÁ → ELEKTRICKÁ VODÍKOVÝ ČLÁNEK (CYKLUS)



5 JADERNÁ → SVĚTELNÁ SLUNCE



Ve středu Slunce probíhají jaderné fúzní reakce (jaderná energie), které se mění nejprve na teplo a poté na světlo, jež dopadá na Zemi.

6 MECHANICKÁ → ZVUKOVÁ KYTAROVÁ STRUNA



Rozechvění struny (mechanická energie) vyvolá vlnění vzduchu – zvukovou energii, kterou slyšíme jako tón.

7 ZVUKOVÁ → MECHANICKÁ ROZBITÍ SKLENÍČKY HLASEM



Silné zvukové vlny mohou způsobit rezonanci skleničky a dodat jí mechanickou energii dostatečnou k jejímu rozbití.

8 SVĚTELNÁ → MECHANICKÁ SLUNEČNÍ PLACHTA



Fotony světla předávají svou hybnost plachtě, a vytvářejí tah. Světlo se mění na pohyb sondy v kosmickém prostoru.

9 GRAVITAČNÍ → ELEKTRICKÁ PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNA



Voda je vyčerpána do vyšší nádrže (ukládání potenciální energie). Při vypouštění padá dolů a její pohyb roztáčí turbíny a vyrábí elektrinu.

10 HMOTNOST → ENERGIE ($E = mc^2$) JADERNÉ REAKCE, ANIHILACÉ ČÁSTIC



Malá část hmotnosti se může změnit na obrovské množství energie – např. při štěpení jader nebo při anihilaci částice a antičástice.

11 CHEMICKÁ → SVĚTELNÁ A TEPELNÁ CHEMILUMINISCENCE



Při chemické reakci se vytvoří excitované částice, které při návratu do základního stavu vyzáří světlo a uvolní teplo. Příkladem jsou světelné tyčinky.

12 MAGNETICKÁ → ELEKTRICKÁ INDUKCE V CÍVCE



Změna magnetického pole v cívce vyvolá elektrické napětí. Pohyb magnetu (energie mechanická) se mění na elektrickou energii.

 **Energie je univerzální** – dokáže měnit podobu mnoha způsoby. Technologie budoucnosti závisí na tom, jak chytře ji dokážeme přeměňovat.



5. Výkon a účinnost.

VÝKON A ÚČINNOST

Výkon nám říká, jak rychle konáme práci. Účinnost udává, jak efektivně přeměňujeme energii.

1. VÝKON – DEFINICE

Výkon je práce vykonaná za jednotku času.
Vyjadřuje, jak rychle přenášíme nebo přeměňujeme energii.



Čím rychleji práci vykonáme (menší čas t),
tím větší je výkon.

2. VZORCE PRO VÝKON

Základní definice:

$$P = \frac{W}{t}$$

P – výkon [W]
 W – práce [J]
 t – čas [s]

Další tvary:

- Mechanický výkon (lineární pohyb):

$$P = F \cdot v$$

F – síla [N]
 v – rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

- Při zvedání tělesa svisle vzhůru stálou rychlostí:

$$P = m \cdot g \cdot v$$

m – hmotnost [kg]
 g – tíhové zrychlení [$9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$]
 v – rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

- Elektrický výkon:

$$P = U \cdot I$$

U – napětí [V]
 I – proud [A]

Jednotka výkonu: 1 watt (W) = 1 joule za sekundu ($1 \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$)

3. ÚČINNOST – DEFINICE

Účinnost udává, jakou část dodané energie zařízení skutečně využije k užitečné činnosti.



4. VZORCE PRO ÚČINNOST

$$\eta = \frac{E_{\text{užitečná}}}{E_{\text{vstup}}}$$

nebo

$$\eta = \frac{P_{\text{užitečný}}}{P_{\text{vstup}}}$$

η – účinnost [-] (bezrozměrná veličina, často v %)

$E_{\text{užitečná}}$, $P_{\text{užitečný}}$ – užitečná (výstupní) energie nebo výkon

E_{vstup} , P_{vstup} – dodaná (vstupní) energie nebo výkon

Účinnost vždy platí: $0 \leq \eta \leq 1$ (tj. 0 % až 100 %)

$\eta = 1$ znamená 100% účinnost – žádné ztráty (ideální případ).

5. Tabulka účinností.

5. BĚŽNÉ ÚČINNOSTI V PRAXI (ORIENTAČNĚ)

Zařízení	Typická účinnost η	Poznámka
 Žárovka (klasická)	5 – 10 %	Většina energie se mění na teplo.
 LED žárovka	80 – 90 %	Velmi účinné přeměňování elektřiny na světlo.
 Elektromotor (malý)	70 – 85 %	Závisí na konstrukci a zatížení.
 Elektromotor (průmyslový)	90 – 97 %	Velmi účinné.
 Osobní automobil (spal. motor)	20 – 30 %	Zbytek jsou tepelné ztráty.
 Hybridní automobil	30 – 40 %	Díky rekuperaci energie.
 Plynový kotel (moderní)	90 – 98 %	Kondenzační kotle až 98 %.
 Solární panel (FV)	15 – 22 %	Závisí na technologii článků.
 Větrná elektrárna	35 – 50 %	Limit daný fyzikálními zákony (max. Betzův limit 59 %).
 Reproduktor	1 – 5 %	Většina energie se mění na teplo.
 Transformátor	98 – 99,9 %	Ztráty pouze v mědi a jádře.

5. Tabulka účinností.

6. TRANSFORMÁTOR – TÉMĚŘ 100% ÚČINNOST

Transformátor pracuje s velmi vysokou účinností,
protože nemá žádné pohyblivé části.
Ztráty vznikají jen v mědi (ohmické) a v železném jádře
(hysterezní a vířivé proudy).



Typická účinnost:

98 – 99,9 %

V přenosové soustavě se používají velké transformátory
s účinností až 99,9 %, což znamená,
že ztráty jsou menší než 1 % dodané energie.

5. Nejvýkonnější objekty ve Vesmíru.

NEJVÝKONNĚJŠÍ OBJEKTY A UDÁLOSTI VE VESMÍRU

Výkon = množství energie uvolněné za jednotku času. Čím větší výkon, tím extrémnější energetické děje.

1 VELKÝ TŘESK (PLANCKOVA ŠKÁLA)



Teoretický maximální výkon
odvozený z Planckových jednotek.

Planckův výkon

$$P_P = \frac{m_P c^2}{t_P} = \frac{c^5}{G}$$

kde m_P je Planckova hmotnost,
 c rychlost světla, t_P Planckův čas,
 G gravitační konstanta.

$$P_P \approx 3,6 \times 10^{52} \text{ W}$$

Absolutní fyzikální limit.

Vyšší výkon není možný.
(čas i prostor vznikají současně)

2 SPLYNUTÍ ČERNÝCH DĚR (GW150914)



Při splynutí dvou černých děr
se uvolní obrovské množství
energie ve formě gravitačních vln.

Maximální výkon

$$P \approx 3 \times 10^{49} \text{ W}$$

Během zlomku sekundy se asi
3 hmotnosti Slunce přeměnily
na gravitační vlny.



Událost GW150914
(detekováno LIGO, 2015)

3 GAMA ZÁBLESK (GRB)



Nejsilnější známé exploze
ve vesmíru – krátké záblesky
gama záření.

Typický výkon

$$P \approx 10^{47} \text{ W}$$

Vznikají při kolapsu velmi hmotné
hvězdy nebo při splynutí neutronových
hvězd. Trvají sekundy až minuty.



100 bilionkrát více než
výkon Slunce.

4 KVASAR (QUASAR)



Extrémně jasné jádro vzdálených
galaxií napájené superhmotnou
černou dírou.

Typický výkon

$$P \approx 10^{42} \text{ W}$$

Jeden kvasar může zářit více
než tisíc galaxií dohromady.



Vzdálenosti miliardy
světelných let.

5 AKTIVNÍ GALAKTICKÉ JÁDRO (AGN)



Superhmotná černá díra
akreující hmotu – vzniká
akreční disk a výtrysky.

Typický výkon

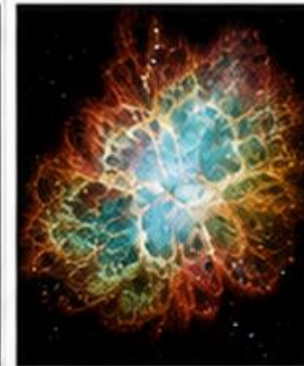
$$P \approx 10^{40} - 10^{42} \text{ W}$$

Výtrysky mohou být dlouhé
miliony světelných let.



Miliony až miliardy
násobek výkonu Mléčné dráhy.

6 SUPERNOVA (VÝBUCH HVĚZDY)



Výbuch masivní hvězdy na konci
jejího života.

Typický výkon

$$P \approx 10^{37} \text{ W}$$

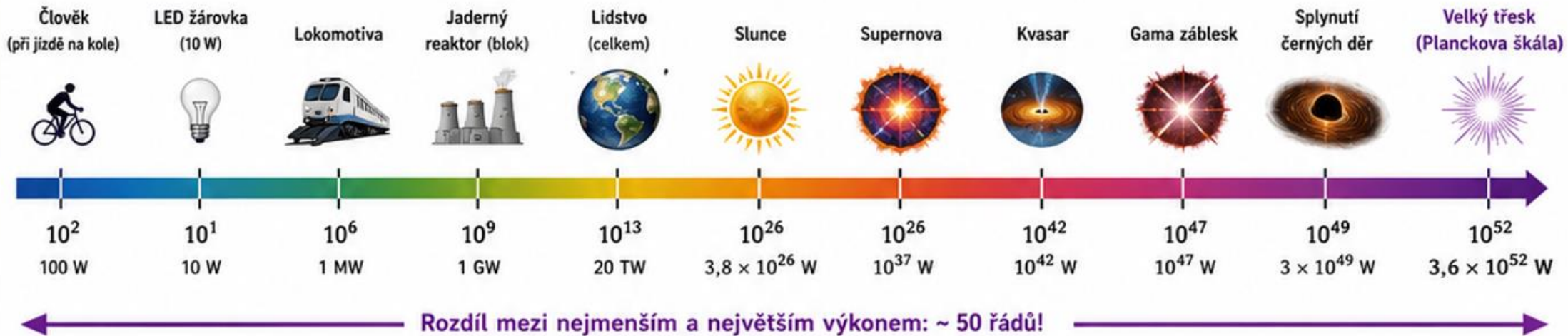
Po několik dní může zářit více
než celá galaxie.



Vznikají těžké prvky.
rozptylují je do vesmíru.

5. Nejvýkonnější objekty ve Vesmíru.

POROVNÁNÍ VÝKONŮ – OD KAŽDODENNÍCH ZDROJŮ PO EXTRÉMY VESMÍRU



PLANCKOVY JEDNOTKY – ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ MĚŘÍTKO

Planckovy jednotky vycházejí pouze ze tří fundamentálních konstant: c (rychlost světla), G (gravitační konstanta) a $\hbar$ (redukovaná Planckova konstanta).

Planckova hmotnost

$$m_P = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = 2,18 \times 10^{-8} \text{ kg}$$

Planckův čas

$$t_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5,39 \times 10^{-44} \text{ s}$$

Planckův výkon

$$P_P = \frac{m_P c^2}{t_P} = \frac{c^5}{G}$$

$$P_P = 3,63 \times 10^{52} \text{ W}$$

Planckův výkon představuje horní mez výkonu ve vesmíru.

Žádný fyzikální proces nemůže mít větší výkon než $\frac{c^5}{G}$,

jinak by došlo k porušení obecných fyzikálních zákonů.



Vesmír umí pracovat s neuvěřitelnými výkony – od každodenních wattů až po 10^{52} wattů na hranici fyziky.

Tyto extrémní hodnoty nám pomáhají pochopit, jak silné a energeticky bohaté procesy se ve vesmíru odehrávají.

6. Jeden joule a kosmický původ energie.

ODKUD POCHÁZÍ ENERGIE, KTEROU POUŽÍVÁME?

Od Velkého třesku až po rozsvícenou žárovku ve vašem pokoji. Energie se neztrácí, pouze se přeměňuje.

KOLIK JE VLASTNĚ 1 JOULE?

Joule je jednotka energie. Ukazuje, kolik práce dokáže energie vykonat.

1 J
(joule)

velmi málo, ale
stále užitečné!

Zvednutí jablka
o 10 cm



$$W = m \cdot g \cdot h \\ \approx 1 \text{ J}$$

Rozsvícení LED
na ~10 s



$$P \approx 0,1 \text{ W} \\ t \approx 10 \text{ s} \rightarrow 1 \text{ J}$$

Pád kniky ze stolu
(0,2 kg, 0,5 m)



$$W = m \cdot g \cdot h \\ \approx 1 \text{ J}$$

Let komára
na ~1 sekundu



$$P \approx 1 \text{ mW} \\ t \approx 1000 \text{ s} \rightarrow 1 \text{ J}$$

Zahřátí 0,24 g vody
o 1 °C



$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \\ \approx 1 \text{ J}$$

Stejné množství energie,
mnoho různých projevů.

Energie se může projevit
pohybem, teplem,
světlem, zvukem
nebo chemickou změnou.

1 kJ (kilojoule)
 $= 10^3 \text{ J}$



Opékání toastu
v topinkovači
(~1 kJ)

1 MJ (megajoule)
 $= 10^6 \text{ J}$



Energie spálená
běžcem za ~2 minuty
(~1 MJ)

1 GJ (gigajoule)
 $= 10^9 \text{ J}$



Denní spotřeba energie
rodinného domu
(~1-3 GJ)

1 TJ (terajoule)
 $= 10^{12} \text{ J}$



Energie v ~100 litrech
benzínu
(~3,4 TJ)

1 PJ (petajoule)
 $= 10^{15} \text{ J}$



Roční spotřeba energie
menšího města
(~1-10 PJ)

Obrovské přírodní energie

Blesk



$\sim 10^9 \text{ J}$
(1 miliarda J)

Jaderná bomba



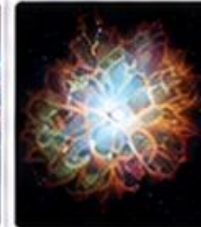
$\sim 10^{13} - 10^{15} \text{ J}$
(desítky TJ až PJ)

Dopad asteroidu



$\sim 10^{16} - 10^{21} \text{ J}$
(Energie, která mění
tvář planety)

Supernova

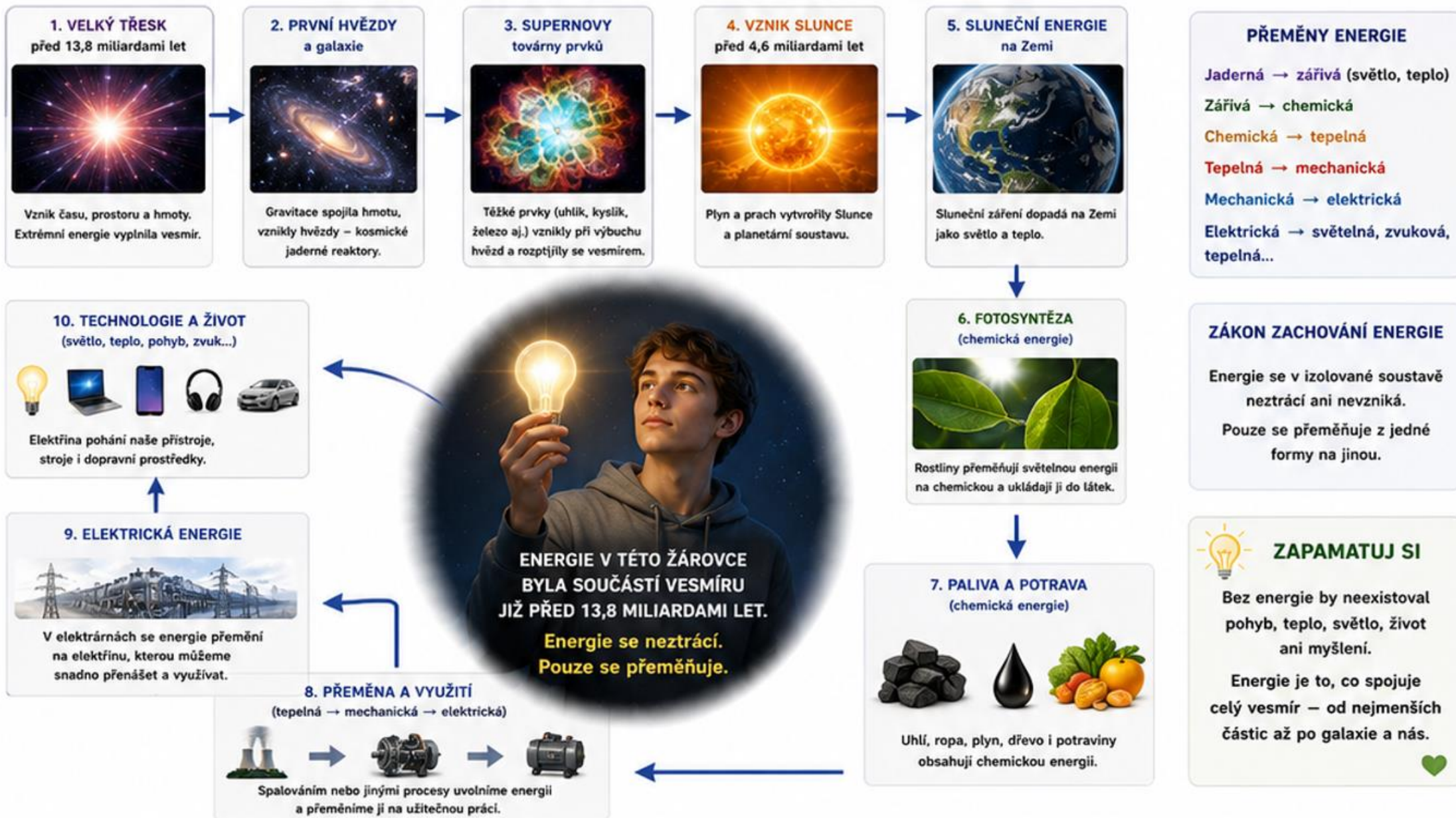


$\sim 10^{44} - 10^{46} \text{ J}$
(více energie než naše
Slunce vyzáří za miliardy let)

6. Jeden joule a kosmický původ energie.

KOSMICKÝ PŮVOD ENERGIE, KTERÁ ŽIVÍ NÁS I NAŠE TECHNOLOGIE

Každý pohyb, každá myšlenka i každé světlo pochází z dávných kosmických procesů.



AŽ UŽ ZVEDÁTE KNIHU, ROZSVĚCÍTE ŽÁROVKU NEBO BĚŽÍTE PO HŘIŠTI – VYUŽÍVÁTE ENERGIÍ, KTERÁ PUTUJE VESMÍREM OD JEHO ZRODU.

JSME SOUČÁSTÍ JEDNOHO OBROVSKÉHO PŘÍBĚHU ENERGIE.

